

研究報告

闊葉樹混合林之生長表現與碳儲存量變化

林俊成^{1,*} 劉一新² 湯適謙³

【摘要】本研究乃以太麻里研究中心闊葉樹混合林造林地為對象，探討三種原生造林樹種不同混植方式之生長表現，並藉由轉換係數估算碳儲存量變化，結果顯示：在九種混植方式中，以樟樹之胸高直徑為最佳；其他各項林木屬性之純林與混合林經統計分析，無顯著差異。由各樹種純林與混合林之徑級分佈圖可得知各林分大致呈中間偏左之鐘形曲線，可見其林分尚在發展階段；惟其中之光臘樹純林無較大徑級林木分布，混合林則有較大徑級林木分布，可推測就現階段而言，光臘樹混合林對其林分結構發展有正面之意義。在蓄積量方面，以核心樹種及外圍樹種皆為烏心石的混植處理組合為最佳，總蓄積量為183.99 m³/ha，而以核心樹種為光臘樹，外圍樹種為烏心石混植處理組合的總蓄積量為最低僅為113.24 m³/ha。而碳儲存量，則以核心樹種及外圍樹種皆為光臘樹的混植處理組合為最佳，總碳儲存量為85.74 ton/ha，而核心樹種及外圍樹種皆為樟樹的混植處理組合為最低僅為47.09 ton/ha。本研究結果顯示，總蓄積量高的樣區而碳儲存量不一定高的原因，主要是由於不同樹種由蓄積量轉為碳儲存量的轉換係數不同所致。

【關鍵詞】人工混合林；多元化育林體系；碳儲存

Research paper

The Growth Performances and Carbon Stock Changes of Broadleaf Mixed Stands

Jiunn-Cheng Lin^{1,*} I-Hsin Liu² Shyh-Chian Tang³

【Abstract】 This research focuses on growth performances studies and carbon stock changes between 3 different native species of Taimalii research center, Taiwan Forestry Research Institute. The result reveals that Camphor tree (*Cinnamomum camphora*) pure stand has the best diameter at breast height (DBH) performance among 9 types of stands; and the rest types of stands show no significant difference statistically. The diameter distributions of all stands share a similar pattern of left-center ball-shaped curve,

1. 行政院農業委員會林業試驗所林業經濟組

Division of Forestry Economics, Taiwan Forestry Research Institute, Taipei, Taiwan

2. 行政院農業委員會林業試驗所集水區經營組

Division of Watershed Management, Taiwan Forestry Research Institute, Taipei, Taiwan

3. 行政院農業委員會林業試驗所森林經營組

Division of Forest Management, Taiwan Forestry Research Institute, Taipei, Taiwan

* 通訊作者，10066 台北市南海路53號。

Corresponding author, No. 53 Nanhai Rd., Taipei 10066, Taiwan.

Tel: +886-2-23039978 ext.1305. Fax:+886-2-23751127. e-mail:ljc@tfri.gov.tw

which indicates the stands are still in growth phase; further analysis shows mixed Formosan Ash (*Fraxinus formosana*) stands have bigger DBH than pure stands. In a mixed stand, the center and peripheral species are both Formosan Michelia (*Michelia compressa*) earning the best highest volume of 183.99 m³/ha; the center and peripheral species are Formosan Ash and Formosan Michelia respectively showing the lowest volume of 113.24 m³/ha. In addition, the center and peripheral species are both Formosan Ash having the highest carbon stock of 85.74 ton/ha; the center and peripheral species are both Camphor tree getting the lowest carbon stock of 47.09 ton/ha. Due to different species are provided with diverse carbon conversion factors, the high-volume stands do not get high carbon stock positively.

【Key words】Mixed Stand ; Multiple Silvicultural System ; Carbon Stock

一、前言

自從林業經營導入「生態系經營」之理念後，有別於過去單一樹種之營林方式，森林經營者亦面對新的挑戰，混合林經營 (mixed forest management) 是一種符合「多樣性」之育林策略，對於提高林分之結構 (structure)、功能 (function) 及組成 (composition) 之多樣性有相當大之助益，於景觀美學上亦可增加觀賞之價值，對於生物多樣性及碳吸存也有貢獻。基於生物多樣性與水土資源保育的理念，以及植林減碳的實際需求，闊葉樹育林體系的建立有其重要性 (劉一新, 2010)，因此，如何建造樹種組成多樣化、混植配置均勻、成活率一致、生長量高且平均的混合林林分，便成為闊葉樹育林研究的重要課題。惟闊葉樹混合林之建造，除需考慮各樹種對生育地條件之需求外，亦需考慮林分建造後，因種間競爭之產生，對林分發育之方向所可能引發的不確定性。換言之，各樹種於混植之後，由於樹冠結構與擴張速度不一，耐蔭性與養分需求量等生理特性亦各有差異，勢將導致種間競爭的發生，致使某些樹種成為優勢樹種，餘則淪為被壓木，甚或遭到淘汰，失去混合林建造之原意，亦無法維持預期之樹種多樣性。針對造林地進行持續之生長調查，為森林經營效益監測程序 (effectiveness monitoring program) 之重要工作項目，並可從中獲得修正經營決策的資訊 (劉一新, 2010)。因此，針對已交地 (即造林合約結束且經林業單位驗收通過者) 之不同齡級造

林地，進行生長調查，當可反映出造林樹種之初期生長及其對生育地條件之適應狀況，以供樹種篩選及改進育林技術之參據。為建立闊葉樹混合林之育林體系，並規劃其後續之撫育作業，實有必要針對樹種之種間競爭及其生態影響進行研究。

森林經由光合作用 (photosynthesis) 吸收並固定大氣中的二氧化碳，因此是大氣二氧化碳的吸收匯；透過造林與森林管理可增加吸收與貯存二氧化碳，故森林將在任何目前經由聯合國下談判進程所形成的 2012 年後國際氣候變化制度中扮演關鍵角色。而「節能減碳」為目前政府的重要政策之一，行政院研訂「永續能源政策綱領－節能減碳行動方案」，責成各部會研提具體行動計畫，國內亦正積極進行相關之研究，農委會也將「節能減碳」列為十大重點產業研究團隊之一。

過去有關闊葉樹生長與碳吸存量的研究主要著重於純林狀態的討論與分析，而對於闊葉樹混合林的研究極少。如林俊成等 (2002) 以生長模式推估樹種之生長潛力及碳儲存量，估算在林齡為20年時，相思樹、光蠟樹、台灣欒欖碳儲存量分別為103.63、94.04 及84.75 ton/ha。柯淑惠 (2006) 估算台大實驗林內茅埔營林區台灣欒 (*Zelkova serrata*) 9年生人工林林分碳儲存量為267.90 ton/ha，台灣欒造林木佔全林分碳儲存量之5.8%，土壤佔全林分碳儲存量比例最高，為93.4%。2005至2006年台灣欒林木生長所增加之年生物量為7.31 ton/ha，換算所增加

之年碳儲存量為4.11 ton/ha。李宣德、馮豐隆(2008)研擬一套台灣森林碳吸存資源調查推估模式系統，整合單株、林分、森林三個層級的資料，來推估樟樹(*Cinnamomum camphora*)每公頃主幹碳儲存量約32.84 ton/ha；每公頃全株碳儲存量為43.48 ton/ha；而其碳量年增長率約為6%。林國銓等人(2007、2008、2009、2010)曾針對台灣欖、相思樹(*Acacia confuse*)、楓香(*Liquidambar formosana*)、木油桐(*Aleurites Montana*)及光蠟樹(*Fraxinus formosana*)等樹種之人工林估算其碳貯存或吸存量。林國銓等(2007)調查苗栗縣境相思樹人工林全林分地上部生物量為327.6 ton/ha，木油桐人工林全林分地上部生物量為115.9 ton/ha。相思樹林分至43年生時相思樹全株平均生產量為5.02 ton/ha/yr；木油桐林分至22年生時木油桐全株平均生產量為4.38 ton/ha/yr。如換算成碳年平均吸存量則相思樹為2.48 ton/ha/yr，木油桐為2.15 ton/ha/yr。林國銓等(2008)估算苗栗46年生台灣欖人工林林木地上部平均碳吸存量為1.95 ton/ha/yr，全株平均碳吸存量為2.40 ton/ha/yr；台東25年生之台灣欖人工林林木地上部平均碳吸存量為1.81 ton/ha/yr，全株平均碳吸存量為2.25 ton/ha/yr。林國銓等(2009)估算台東縣30年生的相思樹和25年生楓香兩林分，其造林木全株碳儲存量分別為60.1、90.4 ton/ha；林分全株碳吸存量則分別為1.85、3.03 ton/ha/yr。林國銓等(2010)估算林業試驗所六龜和太麻里試驗林的兩處光蠟樹人工林之碳儲存量和吸存量。光蠟樹全株林木碳吸存量推估，六龜林分光蠟樹平均可吸存碳2.58 ton/ha/yr；太麻里林分則為1.93 ton/ha/yr。以整個生態系而言，兩林分碳儲存量，六龜林分為175 ton/ha，太麻里林分為230 ton/ha。江博能等(2010)分析臺大實驗清水溝營林區光蠟樹人工林10、14及19年生生長模式與估算地上部生物量與碳存量，估算林齡為10、14及19年生時林分蓄積分別為33.14 m³/ha、63.10 m³/ha及113.89 m³/ha。碳存量分別為18.69 ton/ha、35.59 ton/ha及64.24 ton/ha。平均

年碳存量分別為1.87 ton/ha/yr、2.54 ton/ha/yr、3.38 ton/ha/yr。林郁評(2011)探討雲林縣平地景觀造林樹種台灣欖、光蠟樹樹冠特性及碳貯存量。謝漢欽等(2011)以花蓮縣光復鄉台糖大農及大富農場2002年至2009年平地造林之光蠟樹林地為試驗區，應用福衛二號影像與地面樣區資料推估試區光蠟樹碳吸存量，估計平均每ha光蠟林蓄積量為16.93 ± 1.16 m³/ha，平均每ha吸存的碳量為7.55 ± 0.52 ton/ha，由於該研究之光蠟樹人工林為5至8年生之幼齡木，所以就樣區推估結果，每ha碳吸存量只有8.09 ton/ha。張順能(2011)探討宜蘭天送埤烏心石(*Michelia compressa*)人工林之林分生長與碳吸存量，結果顯示，烏心石總平均生長量為5.495 m³/yr/ha，年生長率11.90%，推估未來烏心石人工林達20年生時，碳貯存量為54.186 ton/ha，平均單株碳固定量為54.789 kg。

自1992年起，林業試驗所曾於太麻里研究中心有系統的進行闊葉樹人工混合林之建造，目前多已成林且生長良好，亟待進行後續經營策略之規畫。爰此，本研究擬擇定適當之已成林造林地為試驗地，調查如胸徑、樹高、冠幅、枝下高、胸高斷面積等各項林木生長屬性，以探討烏心石、樟樹、光蠟樹之生長特性及其種間競爭趨勢；透過徑級分析，以了解各種處理純林與混合林之林分結構，並藉由林木碳吸存量估算模式，推估不同混植方式之碳儲存量變化。

二、材料與方法

(一) 樣區設置與調查

本試驗於太麻里研究中心第二林區設立試驗地，採逢機區集排列方式，先區劃出四塊獨立之120×120 m²方形大樣區，大樣區再細分為九塊40×40 m² (0.16ha)之中樣區，而於中樣區中心畫出20×20 m²之核心區。於1998年6月完成整地及栽植，全區栽植有烏心石、光蠟樹、樟樹等三種原生闊葉樹種，試驗設計包括各樹種互相混合及其純林，共9種混植處理組

合，有4個重覆區集，合計36個試區，栽植苗木均為一年生，平均苗高約70 cm，栽植行株距為2.0 m × 2.5 m。並於1998年11月及1999年2月進行二次全面補植。每一核心區之樹種(面積：0.04 ha，株數：80株)，均被外圍區樹種所包圍，並將內區的80株造林木編號而為長期監測之樣木。1999~2001年曾進行3次苗高等生長調查，本文於2010年3月及2011年10月進行樹高、胸高直徑等生長調查。並使用變異數分析不同混植處理組合之林木生長結果是否有所差異。

(二) 林木碳吸存量估算

1. 林木碳吸存量估算模式

林木碳吸存量估算，可將林木材積藉由基礎木材密度換算出林木生物量，再利用林木生物量與地上部、地下部生物量的擴展係數與碳含量等轉換係數，估算出碳吸存量。其公式如下(IPCC, 2006)：

$$C = V \times BD \times BEF \times (1+R) \times CF$$

如生物量可取得則估算方法及公式可改為：

$$C = W \times BEF \times (1+R) \times CF$$

年碳吸存量為：

$$\Delta C = (C_{t_2} - C_{t_1}) / (t_2 - t_1)$$

式中：C=林木單株碳儲存量(公噸)；V=林木單株材積(m³)；BD=基礎木材密度(公噸/m³)；BEF=生物量擴展係數；R=根莖比；CF=林木碳含量比例；W=林木單株生物量(公噸)。t₁及t₂=在時間為t₁年及t₂年。

2. 林木碳吸存量估算相關轉換係數

(1) 樟樹

樟樹之單株材積(V)估算，可將樹高及胸高直徑的調查結果代入羅紹麟、馮豐隆(1987)樟樹之材積式： $V = 4.89823 \times 10^{-5} \times DBH^{1.60450} \times H^{1.25502}$ 。

基礎木材密度(BD)及林木碳含量(CF)則依林裕仁等(2002)為0.37及0.47。生物量擴展係數(BEF)及根莖比(R)則採用李宣德、馮豐隆(2008、2010)所建立樟樹數值，分別為1.34

及0.407。

(2) 光蠟樹

林國銓等(2010)曾於太麻里研究中心進行光蠟樹人工林生物量及、碳貯存量和吸存量估算，因此本研究引用其結果。光蠟樹之單株生物量(W)為：

$$\ln(W) = -1.3561 + 2.0736 \ln(DBH)$$

林木碳含量(CF)為0.486，生物量擴展係數(BEF)1.49，根莖比(R)為0.233。

(3) 烏心石

材積則依羅紹麟、馮豐隆編(1986)之其他闊葉樹材積式為： $V = 0.0000862 \times D^{1.9742} \times H^{0.9671}$

基礎木材密度(BD)及林木碳含量(CF)則依林裕仁等(2002)為0.52及0.4751，生物量擴展係數(BEF)及根莖比(R)則採用1.369及0.24(林務局, 2010)。

三、結果與討論

(一) 不同混植處理組合之林木生長調查結果

根據不同處理之林木胸高直徑、樹高調查資料，經變異數分析結果顯示：在核心區與外圍區(純林)皆為同一樹種時，其胸高直徑平均值分別為樟樹(樟-樟)17.02 cm > 烏心石(烏-烏)13.49 cm > 光蠟樹(光-光)11.95 cm，其差異並呈5%顯著水準。以整體混植方式來比較，其胸高直徑平均值則以核心區及外圍區皆為樟樹(17.02 cm)最佳，其次為核心區為光蠟樹、外圍區為烏心石(13.51 cm)及核心區、外圍皆為烏心石(13.49 cm)。樹高則無顯著差異(表1)。將各樹種之純林與混合林試驗地之林木成活率經統計分析如表1所示，可得出樟樹混合林(樟-烏、樟-光)成活率分別為86%、85%，大於其純林(樟-樟)65%，並呈1%顯著水準，其他各項之純林與混合林資料經統計分析，無顯著差異。由於本試驗所有樣區之栽植株數是一致的，此或許可以解釋由於樟樹純林成活率較低，林分密度降低可使其胸徑、胸徑生長較與其他樹種混合為大。

(二) 徑級分佈

表1. 不同混植處理組合之林木生長調查結果

Table 1. The tree survey of mixed stands

混植處理 (外圍區-核心區)	現有 株數	成活率 (%)	樹高 (cm)			胸高直徑 (cm)		
			總量		年增量	總量		年增量
			平均數	標準差		平均數	標準差	
烏-烏	202	62	872.82	260.61	31.51	13.49*	5.50	0.38
烏-光	224	69	927.81	346.20	18.20	13.51	6.44	0.39
烏-樟	226	69	830.67	300.14	23.41	12.89	6.06	0.39
光-光	294	90	906.19	270.10	16.66	11.95*	4.85	0.40
光-烏	269	83	819.29	300.18	23.68	10.99	5.36	0.39
光-樟	274	83	936.75	298.13	20.39	12.46	6.21	0.44
樟-樟	210	65	1031.57	326.72	30.25	17.02*	7.10	0.76
樟-烏	286	86**	909.65	254.25	31.22	13.32	6.14	0.63
樟-光	280	85**	908.85	293.82	11.51	12.53	5.94	0.32
總和	2265	77	903.58	299.04	22.53	13.00	6.12	0.44

註：年增量為2010、2011兩年調查結果之增加量。**、*分別表示1%、5%顯著水準。

林木直徑分佈是林分結構特徵之重要指標，其能反應林木之生長及競爭。圖1顯示各處理之純林與混合林徑級分佈圖，由圖1之各樹種純林與混合林之徑級分佈圖可得知各林分大致呈中間偏左之鐘形曲線，可見其林分尚在發展階段；惟其中之光蠟樹純林無較大徑級林木分布，混合林則有較大徑級林木分布，林木分佈較均勻，光蠟樹純林其胸徑只分佈到18 cm之徑級，而光蠟樹與其他樹種之混合林則可連續分佈到26 cm之徑級，因此就同林齡而言，光蠟樹混合林可提早到達較大徑級。可推測就現階段而言，光蠟樹混合林對其林分結構發展有正面之意義。

(三) 不同混植處理組合之林木蓄積量估算結果

在蓄積量方面，以核心樹種及外圍樹種皆為烏心石的混植處理組合為最佳，總蓄積量為183.99 m³/ha，而以核心樹種為樟樹，外圍樹種為烏心石、核心樹種及外圍樹種皆為樟樹、以核心樹種為烏心石，外圍樹種為樟樹等

混植處理組合的總蓄積量高於平均值，分別為162.40、143.39、151.13 m³/ha，而以核心樹種為光蠟樹，外圍樹種為烏心石混植處理組合的總蓄積量為最低僅為113.24 m³/ha。由二年的調查結果加以比較得知：以核心樹種為樟樹，外圍樹種為烏心石及核心樹種及外圍樹種皆為烏心石的混植處理組合的生長表現、蓄積量皆較佳，核心樹種為樟樹，外圍樹種為烏心石的混植處理組合的平均年材積增加量為17.38 m³/ha/yr，核心樹種及外圍樹種皆為烏心石的混植處理組合的平均年材積增加量為16.07 m³/ha/yr，九種混植處理組合的平均值為11.10 m³/ha/yr，而核心樹種及外圍樹種皆為樟樹的混植處理組合也高於平均值，平均年材積增加量為14.85 m³/ha/yr。而以核心樹種為樟樹，外圍樹種為光蠟樹的混植處理組合為最低，平均年材積增加量僅為5.25 m³/ha/yr (表2)。

(四) 不同混植處理組合之林木碳儲存量估算

碳儲存量，則以核心樹種及外圍樹種皆

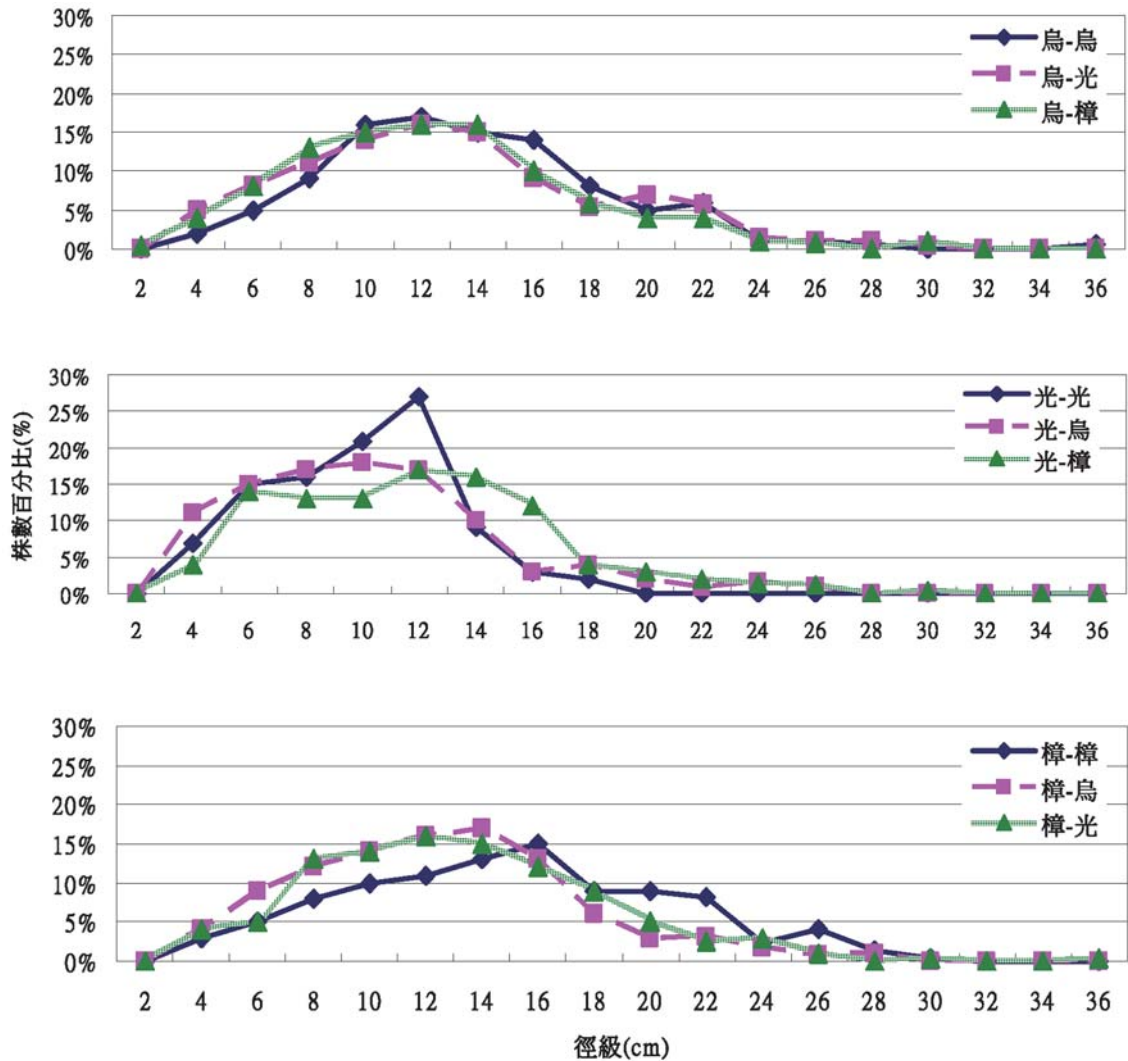


圖1. 各樹種純林與混合林之徑級分佈圖

Fig. 1. The diameter distribution of pure and mixed stands for each tree species

為光蠟樹的混植處理組合為最佳，總碳儲存量為85.74 ton/ha，其次為核心樹種及外圍樹種皆為烏心石、以核心樹種為光蠟樹，外圍樹種為樟樹、以核心樹種為光蠟樹，外圍樹種為烏心石、以核心樹種為烏心石，外圍樹種為光蠟樹等混植處理組合的總蓄積量高於平均值，分別為76.39、75.03、70.52、71.59 ton/ha。而核心樹種及外圍樹種皆為樟樹的混植處理組合為最低僅為47.09 ton/ha。平均年碳吸存量則以核心

樹種及外圍樹種皆為烏心石的混植處理組合最高為6.65 ton/ha/yr，其次為核心樹種為樟樹，外圍樹種為烏心石的混植處理組合為6.24 ton/ha/yr，另外核心樹種及外圍樹種皆為光蠟樹及樟樹的混植處理，及核心樹種為光蠟樹，外圍樹種為樟樹的混植處理組合，分別為5.14、4.87、5.10 ton/ha/yr，其平均年碳吸存量也高於九種混植處理組合的平均值為4.82 ton/ha/yr，而以核心樹種為樟樹，外圍樹種為光蠟樹

表2. 不同混植處理組合之林木蓄積量與碳吸存量估算結果

Table 2. The volume and carbon stock of each mixed stands

混植處理 (外區-核心區)	單株材積 (m ³)			每公頃材積 (m ³)		單株碳儲存量 (ton)			每公頃材碳儲存量 (ton)	
	總量		年增量	總量	年增量	總量		年增量	總量	年增量
	平均數	標準差				平均數	標準差			
烏-烏	0.1457	0.1198	0.0127	183.99	16.07	0.0605	0.0495	0.0053	76.39	6.65
烏-光	0.0996	0.0917	0.0071	139.48	9.92	0.0511	0.0458	0.0032	71.59	4.52
烏-樟	0.1070	0.1076	0.0077	151.13	10.92	0.0450	0.0446	0.0031	63.54	4.36
光-光	0.0718	0.0560	0.0043	131.90	7.94	0.0467	0.0364	0.0028	85.74	5.14
光-烏	0.0674	0.0641	0.0044	113.24	7.39	0.0419	0.0398	0.0027	70.52	4.59
光-樟	0.0773	0.0725	0.0059	132.42	10.14	0.0438	0.0389	0.0030	75.03	5.10
樟-樟	0.1092	0.0932	0.0113	143.39	14.85	0.0359	0.0305	0.0037	47.09	4.87
樟-烏	0.0909	0.0787	0.0097	162.40	17.38	0.0339	0.0305	0.0035	60.64	6.24
樟-光	0.0706	0.0721	0.0030	123.56	5.25	0.0309	0.0346	0.0012	54.02	2.07
總和	0.0905	0.0867	0.0071	142.39	11.10	0.0427	0.0398	0.0031	67.17	4.82

註：年增量為2010、2011兩年調查結果之增加量。

的混植處理組合為最低，平均年材積增加量僅為2.07 ton/ha/yr (表2)。

由蓄積量與碳儲存量的結果來看，以核心樹種及外圍樹種皆為烏心石的混植處理組合總蓄積量為183.99 m³/ha，但總碳儲存量為76.39 ton/ha，而核心樹種及外圍樹種皆為光蠟樹的混植處理組合總蓄積量為131.9 m³/ha，但總碳儲存量為85.74 ton/ha，造成總蓄積量高而碳儲存量不一定高的原因，主要是由於不同樹種由蓄積量轉為碳儲存量的轉換係數不同所致。如根據林裕仁等 (2002) 分析不同樹種之基礎木材密度 (BD) 及林木碳含量 (CF) 相乘之轉換係數結果，樟樹、光蠟樹、烏心石分別為0.174、0.342及0.247，光蠟樹的轉換係數為樟樹的1.97倍，為烏心石1.38倍，因此生長蓄積量雖高，但因轉換係數相較為低，故碳儲存量反而為低。

根據本研究與前人研究結果相較，樹種、

林齡、立地條件、轉換係數等皆是影響闊葉樹碳儲存及吸存量估算結果的重要因素。本研究估算不同混植處理組合之林木碳儲存量結果，約13年生之光蠟樹純林的總碳儲存量為85.74 ton/ha為最高，二年連續調查之碳年增量為5.14 ton/ha，而烏心石、樟樹純林總碳儲存量分別為76.39、47.09 ton/ha，二年連續調查之碳年增量分別為6.65、4.87 ton/ha，與其他研究相較，林俊成等 (2002) 以生長模式推估樹種之生長潛力及碳儲存量，在林齡為20年時，光蠟樹碳儲存量為94.04 ton/ha，平均年碳吸存量為4.7 ton/ha。林國銓等 (2010) 估算林業試驗所六龜和太麻里試驗林的兩處光蠟樹人工林全株林木碳吸存量，六龜林分光蠟樹平均可吸存碳2.58 ton/ha/yr；太麻里林分則為1.93 ton/ha/yr。以整個生態系而言，兩林分碳儲存量，六龜林分為175 ton/ha，太麻里林分為230 ton/ha。本研究估算約13年生之光蠟樹純林的總碳儲存量為

85.74 ton/ha，二年連續調查之碳年增量為5.14 ton/ha，由於林齡較小，故碳儲存量較為低，但碳年增量則略高。而江博能等 (2010) 分析臺大實驗清水溝營林區光蠟樹人工林10、14年生地上部碳儲存量分別為18.69 ton/ha、35.59 ton/ha較本研究為低，主要原因為該研究僅估算地上部碳儲存量。謝漢欽等 (2011) 估算花蓮縣光復鄉台糖大農及大富農場2002~2009年平地造林之光蠟樹林地碳儲存量，平均每ha碳儲存量為7.55 ± 0.52 ton/ha，由於該研究之光蠟樹人工林為5~8年生之幼齡木，相較於其他處於中壯齡期之人工林相對較低。李宣德、馮豐隆 (2008) 利用所研擬台灣森林碳吸存資源調查推估模式系統，推估樟樹每公頃主幹碳儲存量約32.84 ton/ha；每公頃全株碳儲存量為43.48 ton/ha，其結果與本研究相近樟樹純林總碳儲存量為47.09 ton/h。張順能 (2011) 推估宜蘭天送埤烏心石人工林達20年生時，碳儲存量為54.186 ton/ha，則低於本研究烏心石純林碳儲存量。

四、結論

由調查結果比較得知：以核心樹種為樟樹，外圍樹種為烏心石及核心樹種及外圍樹種皆為烏心石的混植處理組合的生長表現、蓄積量及碳吸存量皆較佳，核心樹種為樟樹，外圍樹種為烏心石的混植處理組合的平均年材積增加量為17.38 m³/ha/yr，核心樹種及外圍樹種皆為烏心石的混植處理組合的平均年材積增加量為16.07 m³/ha/yr，九種混植處理組合的平均值為11.10 m³/ha/yr，而核心樹種及外圍樹種皆為樟樹的混植處理組合也高於平均值，平均年材積增加量為14.85 m³/ha/yr。而以核心樹種為樟樹，外圍樹種為光蠟樹的混植處理組合為最低，平均年材積增加量僅為5.25 m³/ha/yr。平均年碳吸存量則以核心樹種及外圍樹種皆為烏心石的混植處理組合最高為6.65 ton/ha/yr。另外核心樹種及外圍樹種皆為光蠟樹及樟樹的混植處理，及核心樹種為光蠟樹，外圍樹種為樟樹的混植處理組合，分別為5.14、4.87、5.10

ton/ha/yr，其平均年碳吸存量也高於九種混植處理組合的平均值為4.82 ton/ha/yr，而以核心樹種為樟樹，外圍樹種為光蠟樹的混植處理組合為最低，平均年材積增加量僅為2.07 ton/ha/yr。由蓄積量與碳儲存量的結果來看，以核心樹種及外圍樹種皆為烏心石的混植處理組合總蓄積量為183.99 m³/ha，但總碳儲存量為76.39 ton/ha，而核心樹種及外圍樹種皆為光蠟樹的混植處理組合總蓄積量為131.9 m³/ha，但總碳儲存量為85.74 ton/ha，造成總蓄積量高而碳儲存量不一定高的原因，主要是由於不同樹種由蓄積量轉為碳儲存量的轉換係數不同所致。

五、參考文獻

- 江博能、王亞男、梁治文 (2010) 臺灣中部地區光蠟樹人工林生長量與碳存量之研究。臺灣大學生物資源暨農學院實驗林研究報告 24(3)：185-194。
- 李宣德、馮豐隆 (2008) 森林碳吸存資源調查推估模式系統—以台灣樟樹為例。台灣林業科學 23 (Supplement)：S11-22。
- 李宣德、馮豐隆 (2010) 台灣地區樟樹生物量擴展係數之建立。林業研究季刊 32(3)：45-54。
- 林俊成、鄭美如、劉淑芬、李國忠 (2002) 全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經濟效益評估。台灣林業科學 17(3)：311-321。
- 林務局 (2010) 育林實務手冊。pp. 150-193。行政院農業委員會林務局。臺北。
- 林郁評 (2011) 平地景觀造林樹種臺灣檫、光蠟樹樹冠特性及碳貯存量之研究-以雲林地區為例。中興大學森林學系所碩士論文。76頁。
- 林國銓、杜清澤、黃菊美 (2007) 苗栗地區相思樹和木油桐人工林碳和氮累積量及生產量之估算。中華林學季刊 40(2)：201-218。
- 林國銓、黃菊美、杜清澤 (2008) 檫木人工林造林木碳貯存量和吸存量之估算。國家公園學報 18(2)：45-58。

- 林國銓、杜清澤、黃菊美 (2009) 臺東地區相思樹與楓香兩人工林碳累積量。林業研究季刊 31(3) : 55-68。
- 林國銓、杜清澤、黃菊美 (2010) 光蠟樹人工林碳貯存量和吸存量之估算。中華林學季刊 43(2) : 261-276。
- 柯淑惠 (2006) 台灣檉人工林生物量及碳儲存量之研究。國立中興大學森林學系所碩士論文。58頁。
- 張順能 (2011) 宜蘭天送埤烏心石人工林之林分生長與碳吸存。國立宜蘭大學森林暨自然資源學系碩士論文。62頁。
- 謝漢欽、汪大雄、王慈憶、張鈞媛、邱志明 (2011) 應用福衛二號影像與地面樣區資料於光蠟樹平地造林地之碳吸存推估。航測及遙測學刊 16(2) : 79-99。
- 劉一新 (2010) 闊葉樹育林之研究。中華林學季刊 43(4) : 569-579。
- 羅紹麟、馮豐隆 (1986) 台灣第一次林相變更造林木生長情形及生長量調查計劃報告。林務局。89頁。
- 羅紹麟、馮豐隆 (1987) 生物量調查及分析方法在樟樹資源調查之應用。興大實驗林研究報告第8號。p. 67~87。
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Published: IGES, Japan.

